基于 GS 和 GIS 的春尺蠖种群分布动态研究

娄国强[1]，吕文彦[1]，余 昊[1*]，王登元[2]，王运兵[1]

(1. 河南科技学院植物保护系，河南新乡 453003；2. 新疆农业大学农学院，乌鲁木齐 830052)

摘要：本文利用杀虫灯诱杀春尺蠖雄成虫的数据，采用地统计学空间插值方法，借助遥感(RS)和地理信息系统(GIS)技术，得出 2001 ~ 2003 年和田地区春尺蠖种群空间分布格局及其动态。结果显示，3 年中春尺蠖种群均为聚集分布，但聚集程度、种群空间分布和数量处于动态变化之中。通过 TM 卫片解译提取和田地区森林图层，在 ARCGIS 中完成对插值模拟图的切割，从而把春尺蠖种群动态的年际分布显示在具体的森林斑块内。研究结果可作为进一步研究春尺蠖种群暴发机理和系统控制的基础。

关键词：春尺蠖；遥感；地统计学；地理信息系统；空间分布格局；种群动态

中图分类号：Q968 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2006)04-0613-06

Distribution pattern and dynamics of *Apocheima cinerarius* Erschoff populations studied with GS and GIS

LOU Guo-Qiang[1]，LU Wen-Yan[1]，YU Hao[1*]，WANG Deng-Yuan[2]，WANG Yun-Bing[1] (1. Department of Plant Protection，Henan Institute of Science and Technology，Xinxiang，Henan 453003，China；2. College of Agronomy，Xinjiang Agricultural University，Urumqi 830052，China)

Abstract：The geostatistics method combined with RS and GIS technique was used to study the spatial distribution pattern and dynamics of *Apocheima cinerarius* (Erschoff) populations in 2001 – 2003 based on the data of *A*. *cinerarius* adults collected in light traps in Hetian，Xinjiang in these three years. The results showed that the *A*. *cinerarius* populations were in aggregated pattern of distribution during the three years in this district，but the aggregation degree as well as the spatial and quantitative distribution varied dynamically. Through interpreting the TM images and extracting the forest coverage of Hetian district，the cutting of simulation maps was completed with the help of ARCGIS software，and the *A*. *cinerarius* population distribution in concrete forest patchs was thus displayed. These results may serve as the basis for further studying the outbreak mechanism and integrated control strategies of *A*. *cinerarius* populations in Xinjiang.

Key words：*Apocheima cinerarius*；remote sensing；geostatistics；geographic information system；spatial distribution pattern；population dynamics

空间分析是害虫宏观管理的前提和基础，只有掌握害虫的时间动态和空间动态，才能进一步揭示其暴发机制并对其未来进行预测。3S 技术的广泛应用，极大地推动了昆虫空间分析技术的发展。地统计学和地理信息系统(geographic information system，GIS)已经有效地被应用于昆虫种群的时空动态研究。地统计学侧重于区域化变量的空间结构分析、模拟、空间插值，它能最大限度地利用野外调查所提供的各种信息，揭示周期性和非周期性生态参数本质。它估计出的量比经典方法更为精确，可有效的避免系统误差。地统计学用于昆虫种群空间格局的研究，不仅能判断种群的空间分布状态，还可以提供有关聚集程度、聚集范围和聚集方向性等更详细的信息(Hohn *et al*.，1993；Liebhold *et al*.，1993；周国法和徐汝梅，1998；王政权，1999)。地理信息系统侧重于空间显示和查询，用于影响种群动态的因子分析、可视化种群时空动态模拟等。两者结合起来是昆虫空间分析的理想工具(李哲等，2004)，已经广泛用于区域性害虫的空间分析，如棉铃虫 *Heliothis armigera*(陆永跃和梁广文，2002，王正

基金项目 河南省教育厅科技攻关项目(200410467012)

作者简介 娄国强，男，1963 年生，河南扶沟人，硕士，副教授，研究方向为昆虫种群生态及生理生态学，E-mail：lgq@hist.edu.cn

* 通讯作者 Author for correspondence，E-mail：yuhao971222@sohu.com

收稿日期 Received：2005-11-08；接受日期 Accepted：2006-05-24

军等，2004)、褐飞虱 *Nilaparvata lugens*（王海扣等，1998；周强等，2001)、白背飞虱 *Sogatella furcifera*（周强等，2003)、马尾松毛 *Dendrolimus punctatus*（石更生和李典谟，1997)，取得较好的效果。遥感(remote sensing，RS)和全球定位系统(global position system，GPS)在害虫空间分析上用于收集数据、生态调查、动态监测和提供目标地物的地理坐标。遥感在昆虫空间分析中有三个方面的应用：一是应用高分辨率的卫星或雷达直接监测昆虫本身；二是监测害虫造成的危害，主要通过受害植物的光谱变化来反映；三是监测害虫分布的适宜生境。遥感与 GIS 结合在蝗虫的空间分析与预测中取得较好的效果(Tappan *et al.*，1991；韩秀珍等 2001，2003；郝树广等，2002)。

春尺蠖 *Apocheima cinerarius* Erschoff 是我国中、西部地区以及中亚地区重要的林木果树害虫，近几年在新疆和田地区暴发成灾。但春尺蠖的研究主要是防治方面，对于它的大范围的空间分析还未见报道。本文以杀虫灯诱虫数量为数据源，运用地统计学方法，以地理信息系统为分析平台，模拟分析显示新疆和田地区春尺蠖的空间结构特点、分布的时空动态，特别是结合遥感数据源，以监测春尺蠖适宜生境的方法，确定害虫分布的具体森林斑块，使得害虫的时空动态和数量动态更加细化，为和田地区春尺蠖害虫种群控制提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 虫口数据来源

佳多频振式杀虫灯诱杀春尺蠖雄成虫的数据由和田地区各县森防站提供，作者参与部分样点的数据调查与记录。从中挑选 60 个频振式杀虫灯诱杀雄成虫数据(图 1)，以诱杀高峰期 15 天的平均值计数为该灯诱杀数据，同时记录该杀虫灯的经纬度坐标。

1.2 数据处理方法

利用 TM 卫片，选取 4，5，3 三波段，通过 ENVI 软件对卫片解译，结合和田地区 1:25 万土地利用现状图、行政区划图和地形图等，从中提取森林图层，转换并导入地理信息系统软件 ARCGIS8.1 中。

将样点(诱捕灯)的经纬度坐标存为数据库文件。在 ARCGIS8.1 的地统计分析模块中打开并显示，添加和田行政区划图，对数据进行地统计学的半方差函数的空间格局分析和 Kriging 空间插值模拟，得到 2001 ~ 2003 年和田地区春尺蠖空间格局分布模拟图，并与和田地区森林图层叠加，进行切割，得到和田地区 2001 ~ 2003 年春尺蠖分布的具体森林斑块和分布密度。

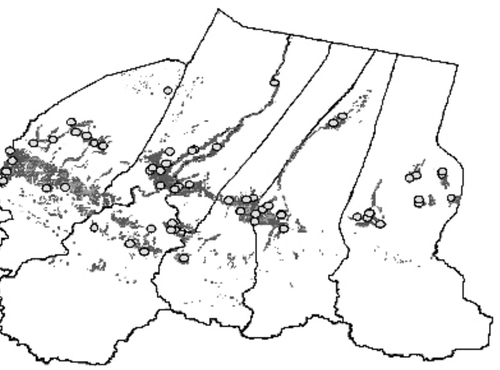

图 1 60 个取样杀虫灯所在位置及森林图层

Fig. 1 The locations of light traps with forest coverage as background

空间分析采用地统计学的半方差函数。半方差函数是地统计学的核心参数，它通过测定区域化变量分隔等距离的样点间的差异来研究变量的空间相关性和空间结构。样本半方差函数采用下式计算：

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

式中 $\gamma(h)$ 为半方差函数值，$N(h)$ 是被 h 分隔的数据对的数量，$z(x_i)$ 和 $z(x_i + h)$ 分别是在点 x_i 和 $x_i + h$ 处样本的测量值，h 是两分隔样点的距离。

2 结果与分析

2.1 空间结构的经典统计分析

对 2001 ~ 2003 年的调查数据进行基本统计。从表 1 可以看出：3 年间，春尺蠖的成虫密度呈现高低不等的波动状态，其中 2002 年的成虫平均密度最低，2003 年的最高。各年的频数分布都不均匀，方差较大。应用经典统计学的聚集度指标[I = (方差/平均密度) − 1]分析各年的数据，其结果均为 $I > 0$。因此得出结论：2001 ~ 2003 年春尺蠖成虫密度的空间分布类型为聚集分布。

表 1 春尺蠖成虫密度的基本统计

Table 1 Univariate statistics for densities of *Apocheima cinerarius* adults

年份 Year	样本数 Sample number	平均值 Mean	聚集度指标 *I*	方差 Variance	最大值 Max.	最小值 Min.	标准差 *SD*
2001	60	151.6	158.4	24161.4	670	9	155.4
2002	60	122.92	159.7	19754.3	560	11	140.55
2003	60	176.08	175.1	31021.8	689	28	176.13

2.2　应用地统计学的空间结构分析

采用球形模型来拟合各站点数据半方差函数值，得到各年的拟合模型参数（表 2）和半方差函数图（图 2）。各年春尺蠖分布具有以下特点：（1）均为聚集分布，存在一定的空间相关性，即有一定的空间依赖性范围（变程 a），只是这种空间依赖的范围有所不同而已。依据图中距离，按 1∶250 000 比例尺换算成实际距离，即 2001 年变程为 154.29 km，2002 年变程为 243.76 km，2003 年变程为 155.65 km，表明各年的聚集范围有所变化。（2）不同年份间，在同一空间尺度下，同一变量即使空间依赖的范围相同或相近，其空间相关的强弱（空间变异所占比例的高低）也存在明显差异。如 2001 年和 2003 年的相关变程均为 155 km 左右，小于 2002 年。2001 年的空间相关程度 100%，为纯块金效应，远强于 2003 年的 47.5%。产生这种现象是由于影响区域化变量的因子发生改变，从而导致空间变异在总变异中的成分发生了变化。

表 2　春尺蠖成虫全方位半方差函数图的空间结构特点及参数

Table 2　The characteristics of spatial structure and parameters of ominidirectional variograms for *Apocheima cinerarius* adults

年份 Year	模型 Model	块金 C_0	拱高 $C-C_0$	基台值 C	变程(km) a	聚集程度 $(C-C_0)/C$	随机程度 C_0/C	分布型 Distribution pattern
2001	球形 Spherical	0	0.9168	0.9168	154.29	1	0	聚集 Aggregated
2002	球形 Spherical	0.49431	11.046	11.54	243.76	0.9572	0.0428	聚集 Aggregated
2003	球形 Spherical	0.49443	0.4556	0.96	155.65	0.475	0.525	聚集 Aggregated

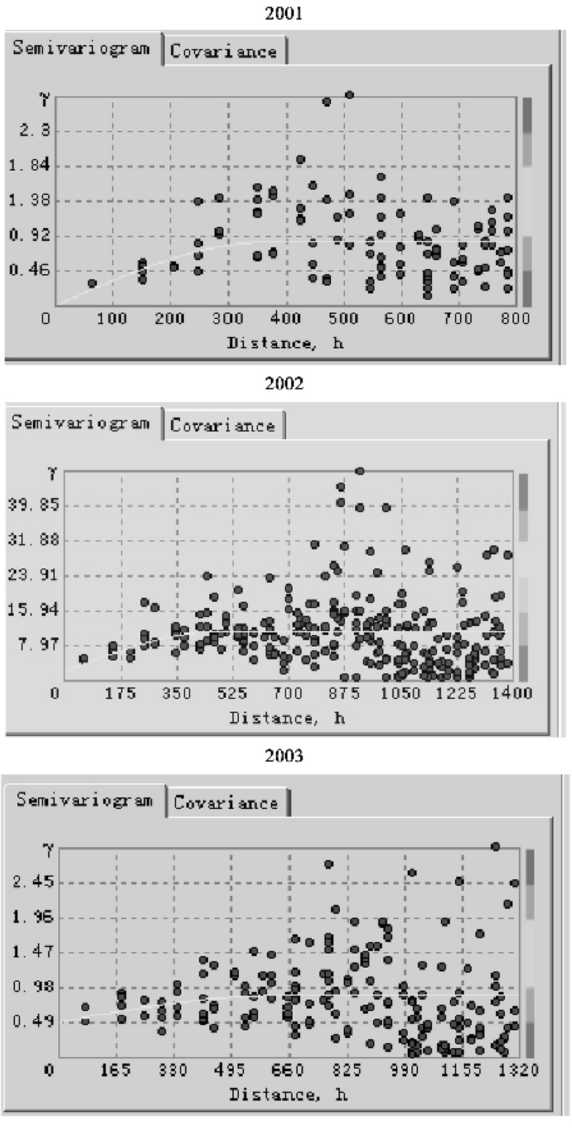

图 2　不同年份春尺蠖成虫分布半方差函数图

Fig. 2　Variograms for *Apocheima cinerarius* adults in different years

2.3　空间插值与动态分析

在空间结构分析的基础上，结合各年的模拟模型，应用 kriging 法对 2001～2003 年的成虫密度数据进行表面插值，得出各年春尺蠖成虫在整个和田地区的分布，如图 3。将密度数据分为 10 个等级，它们依次为 9～13、13～20、20～32、32～51、51～82、82～131、131～210、210～337、337～542、542～670，单位为 15 天平均诱杀雄虫数量。从插值图可以看出，各年的成虫密度在整个和田范围内存在明显的空间结构，即成虫密度的大小不仅与空间位置有关，而且其分布存在明显的方向性，3 年的成虫密度均表现为围绕一至多个聚集中心，从外围向中心由小到大地显示出层状聚集的格局。尽管各年的基本分布格局相类似，但聚集中心所在的位置、聚集方向、各个密度等级所占的面积和分布范围在不同年份间均存在差别。春尺蠖成虫在 3 年的基本分布格局表现为和田皮山县及洛浦县密度较大、发生偏重，其次是民丰县和策勒县，发生偏轻的是和田县、墨玉县。

分布格局的动态变化，可从三方面说明：（1）聚集中心的变化。2001 年至 2002 年 2 个聚集中心，分布在皮山县、洛浦县，2003 年发展到 3 个聚集中心，分别为皮山县、策勒县、民丰县，聚集中心的位置向东南移动，这与当地 3 月份的风向有关。（2）聚集方向的变化。由于聚集中心的位置、数量发生变化，导致各年聚集带的伸展方向产生差异。2001 年两个聚集中心为西北－东南走向，长椭圆形，2002 年聚集中心不变，皮山县聚集中心方向也变化不大，洛浦县聚集中心聚集方向向南偏斜，2003 年聚集中心数量、位置都发生变化，皮山县中心聚集方向变化不大，洛浦

县聚集中心缩小，呈圆形，新增民丰聚集中心，聚集方向向东北倾斜。(3) 成虫发生程度的变化。通过图 3 可以看出这 3 年的发生趋势。2001 年至 2003 年成虫发生程度趋于加重，春尺蠖成虫所呈现的这种空间分布格局和动态变化是多种生态因素综合影响的结果。例如各地的树种分布，气候异同，早春气温和风向变化、防治措施等都对春尺蠖的分布格局产生一定的影响。

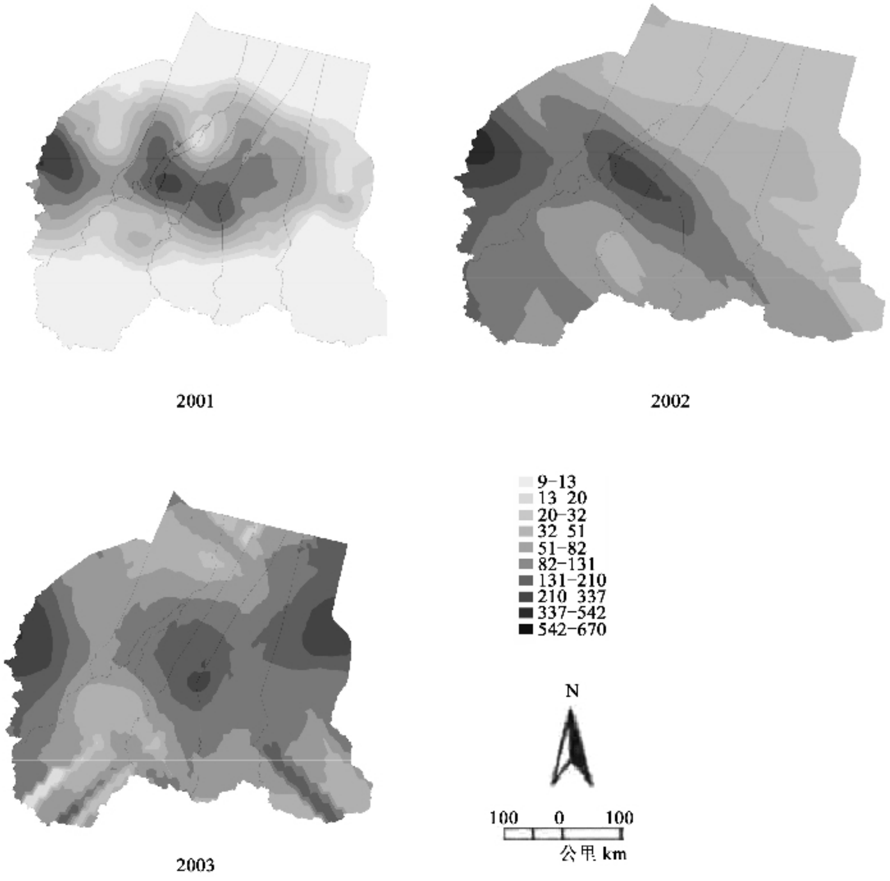

图 3　2001 ~ 2003 年春尺蠖成虫密度分布模拟图

Fig. 3　The map of kringing for densities of the *Apocheima cinerarius* adults during 2001 – 2003

注 Notes：密度等级 Density level. 1 级 1st level：9 – 13；2 级 2nd level：13 – 20；3 级 3rd level：20 – 32；4 级 4th level：32 – 51；5 级 5th level：51 – 82；6 级 6th level：82 – 131；7 级 7th level：131 – 210；8 级 8th level：210 – 337；9 级 9th level：337 – 542；10 级 10th level：542 – 670. 下同 The same below.

2.4　种群发生量与分布的定位显示

采用地理信息系统软件的图形切割功能，用森林土层切割 2001、2002、2003 年春尺蠖成虫密度分布模拟图，并与和田地区行政区划图相叠加，所得结果如图 4。从图可以详细地观察出 2001 年、2002 年、2003 年春尺蠖发生森林斑块位置、发生级别。

由切割过程中自动生成的属性数据库，输出 dbf 格式，在 SPSS 中归类统计分析，得到 2001 ~ 2003 年和田地区各个发生级别的面积及其所占百分比(表 3)。表 3 详细地反映了 3 年来和田地区春尺蠖发生的详细情况。

3　讨论

本文应用传统方法(聚集度指数)和地统计学方法，都得出春尺蠖成虫的空间分布为聚集分布。地统计学方法不仅可定量分析成虫密度的空间相关性，而且还可获得聚集分布的更多信息，如聚集范围、聚集强度和聚集方向等；另外，通过地统计学的 Kriging 空间插值模拟，还可以得到分布的具体位置、聚集斑块的大小和时空动态显示。

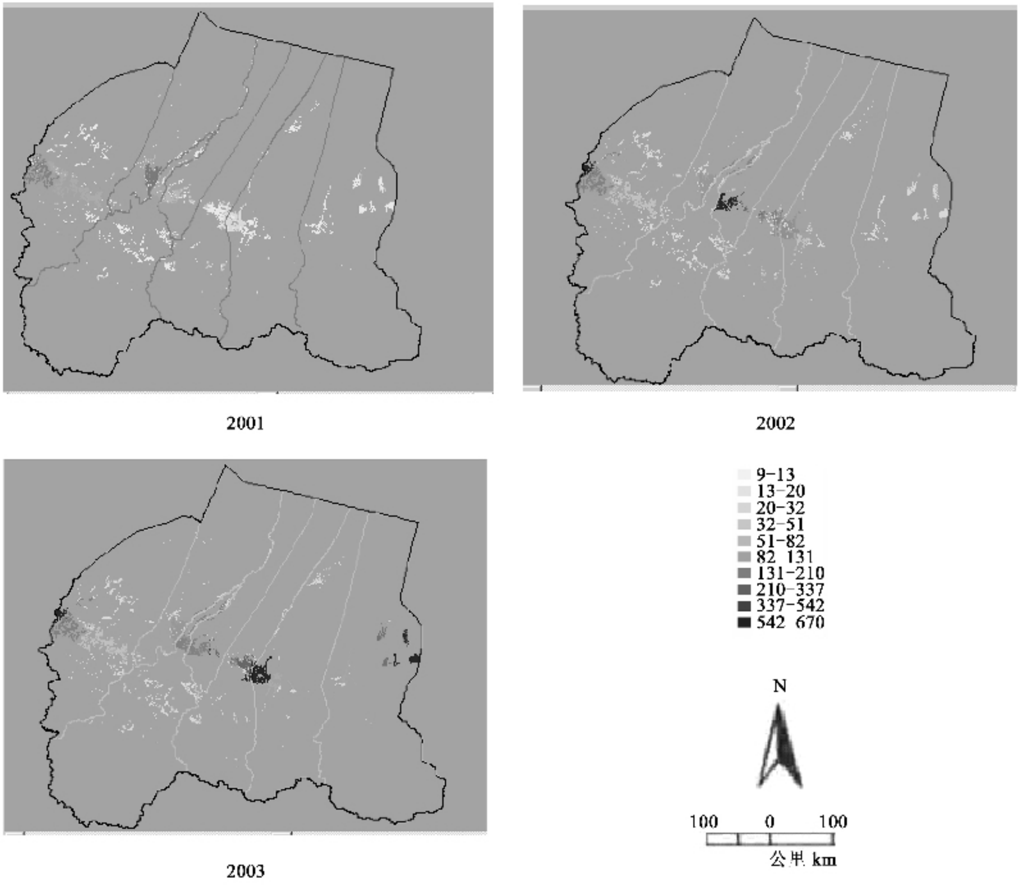

图 4　2001 ~ 2003 年和田地区春尺蠖分布

Fig. 4　The distribution of *Apocheima cinerarius* in Hetian district during 2001 – 2003

表 3　2001 ~ 2003 年和田春尺蠖发生程度表

Table 3　The occurrence degree of *Apocheima cinerarius* in Hetian district in 2001 – 2003

密度等级 Density level	2001		2002		2003	
	面积 Area (km²)	所占比例 Proportion (%)	面积 Area (km²)	所占比例 Proportion (%)	面积 Area (km²)	所占比例 Proportion (%)
1 级 1st	130.475	21.8	21.525	3.6	30.600	5.1
2 级 2nd	110.975	18.5	109.775	18.3	73.775	12.3
3 级 3rd	126.575	21.1	119.975	20.0	103.175	17.2
4 级 4th	93.575	15.6	162.575	27.1	118.175	9.7
5 级 5th	37.800	6.3	25.800	4.3	48.600	8.1
6 级 6th	11.400	1.9	48.600	8.1	67.775	11.3
7 级 7th	34.800	5.8	21.600	3.6	46.800	7.8
8 级 8th	30.600	5.1	45.000	7.5	55.800	9.3
9 级 9th	20.400	3.4	27.000	4.5	30.600	5.1
10 级 10th	2.100	0.4	18.050	3.0	24.600	4.1

本文在应用地统计学结合地理信息系统对春尺蠖种群空间分析的基础上，采用遥感技术确定了害虫适宜分布生境，三者综合运用，不仅分析了春尺蠖大尺度的空间格局，还分析了具体森林板块中害虫发生情况，为害虫的区域治理奠定基础。但本文采用遥感技术只是提供了春尺蠖种群的分布范围，并没有根据害虫为害后森林群落的光谱变化来及时监测害虫危害程度和虫口密度，针对近年来和田地区春尺蠖暴发成灾情况，这种监测也是非常必要的。

春尺蠖的雄虫飞翔力不强，只有几十米，不能远距离迁飞，雌虫翅退化。因此，春尺蠖长距离迁移的情况很少，除了人为因素外，就是幼虫靠风力迁移。

和田地区为干旱荒漠景观，其景观基底是沙漠戈壁，是春尺蠖不适生存区域，通过本文的分析显示，春尺蠖种群分布于一些相互隔离的森林斑块内，形成典型的异质种群（metapopulation）。因此，在进行春尺蠖种群区域治理过程中，要充分考虑异质种群的特点，以异质种群理论为基础进行宏观调控。如阻断局部种群间的个体交流和基因交流，减少或避免援救效应等措施，可能会比‘哪里有虫治哪里’更加有效。对于春尺蠖在该区域长期暴发而缺乏有效控制措施，从理论上也值得深思和探讨。

参 考 文 献（References）

Han XZ，Ma JW，Luo JN，2003. Remote sensing and GIS used for East Asian migratory locust hazards. *Geographical Research*，22（2）：253－260.［韩秀珍，马建文，罗敬宁，2003. 遥感与 GIS 在东亚飞蝗灾害研究中的应用. 地理研究，22（2）：253－260］

Han XZ，Ma JW，Ma CF，2001. The use of TM data and field sample statistics data and spectral data to synthetically analyze East Asian migratory locust hazards. *Journal of Nature Disaster*，10（4）：173－178.［韩秀珍，马建文，马超飞，2001. 利用 TM 及地面样方与光谱数据分析东亚飞蝗灾害. 自然灾害学报，10（4）：173－178］

Hao SG，Qin QL，Wang ZJ，Kang L，Li HC，Chen YL，Li DM，2002. Management strategies and control techniques for locust and grasshopper plagues around the world：status and perspectives. *Acta Entomologica Sinica*，45（4）：531－537.［郝树广，秦启联，王正军，康乐，李鸿昌，陈永林，李典谟，2002. 国际蝗虫灾害的防治策略和技术：现状与展望. 昆虫学报，45（4）：531－537］

Li Z，Ji R，Xie BY，Li DM，2004. Review on the insect spatial ecology. *Entomological Knowledge*，40（1）：30－35.［李哲，季荣，谢宝瑜，李典谟，2004. 论昆虫空间生态学研究. 昆虫知识，40（1）：30－35］

Liebhold AM，Rossi RE，Kemp WP，1993. Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. *Annu. Rev. Entomol.*，38：303－327.

Lu YY，Liang GW，2002. The spatial pattern of the cotton bollworm eggs with geostatistics. *Journal of Huazhong Agricultural University*，21（1）：13－17.［陆永跃，梁广文，2002. 棉铃虫卵空间分布的地理统计学分析. 华中农业大学学报，21（1）：13－17］

Hohn ME，Liebhold AM，Gribko L，1993. Geostatistical model for forecasting spatial dynamics of defoliation caused by the Gypsy moth，*Lymantria dispar*（Lepidoptera：Lymantriidae）. *Environmental Entomology*，22（5）：1 066－1 075.

Shi GS，Li DM，1997. Geostatistic analysis of spatial pattern of *Dendrolimus punctatus*. *Chinese Journal of Applied Ecology*，8（6）：612－616.［石更生，李典谟，1997. 马尾松毛虫空间格局的地统计学分析. 应用生态学报，8（6）：612－616］

Song YH，Heong KL，1993. Use of geographical information systems in analyzing large area distribution and dispersal of rice insects in South Korea. *Korean J. Appl. Entomol.*，32（3）：307－316.

Tappan GG，Moore DG，Knausenberger WI，1991. Monitoring grasshopper and locust habitats in Sahelian Africa using GIS and remote sensing technology. *International Journal of Remote Sensing*，5（1）：123－135.

Wang HK，Wang Q，Cheng XN，Wang MT，Wu XY，1998. Application of the geographical information system in analyzing the dynamics of the brown planthopper in Jiangsu Province. *Journal of Southwest Agricultural University*，20（5）：432－437.［王海扣，王群，程遐年，王茂涛，吴晓毅，1998. 应用地理信息系统分析浙江褐飞虱的发生动态. 西南农业大学学报，20（5）：432－437］

Wang ZJ，Cheng JA，Shi Z，2000. Spatial distribution pattern and dynamics of egg masses of the 1st generation of *Chilo suppressalis*（Walker）in the 1st rice crop season in Zhejiang Province. *Journal of Zhejiang University*（*Agric. & Life Sci.*），26（5）：465－473.［王正军，程家安，史舟，2000. 早稻二化螟一代卵块的区域性空间分布格局及动态. 浙江大学学报（农业与生命科学版），26（5）：465－473］

Wang ZJ，Li DM，Xie BY，2004. Analysis on spatial distribution and dynamics of *Helicoverpa armigera*（Hübner）eggs，based on GIS and GS. *Acta Entomologica Sinica*，47（1）：33－40.［王正军，李典谟，谢宝瑜，2004. 基于 GIS 和 GS 的棉铃虫卵空间分布与动态分析. 昆虫学报，47（1）：33－40］

Wang ZJ，Li DM，Shang HW，Cheng JA，2002. Theories and methods of geostatistics and its their application in insect ecology. *Entomological Knowledge*，39（6）：405－411.［王正军，李典谟，商晗武，程家安，2002. 地质统计学理论与方法及其在昆虫生态学中的应用. 昆虫知识，39（6）：405－411］

Wang ZQ，1999. Geoestatistics and Its Application in Ecology. Beijing：Science Press. 109－126.［王政权，1999. 地统计学及在生态学中的应用. 北京：科学出版社. 109－126］

Yu H，Wang DY，2004. Study on the spatial pattern and sampling technique of *Apocheima cinerarius* Erschoff populations. *Xinjiang Agricultural Sciences*，41（5）：296－298.［余昊，王登元，2004. 春尺蠖种群空间分布型及抽样技术研究. 新疆农业科学，41（5）：296－298］

Zhou GF，Xu RM，1998. Research on the Biogeostatistics. Beijing：Science Press. 3－10［周国法，徐汝梅，1998. 生物地理统计学. 北京：科学出版社. 3－10］

Zhou Q，Zhang RJ，Gu DX，Zou SF，Xu QF，2001. Spatial structure and pattern of Nilaparvata lugens population in large-scale. *Chinese Journal of Applied Ecology*，12（2）：249－252.［周强，张润杰，古德祥，邹寿发，徐起峰，2001. 大尺度下褐飞虱种群空间结构初步分析. 应用生态学报，12（2）：249－252］

Zhou Q，Zhang RJ，Gu DX，1998. Review of geostatistics applied in insect population spatial structure. *Zoological Research*，19（6）：482－488.［周强，张润杰，古德祥，1998. 地统计学方法及其在昆虫种群结构研究中的应用. 动物学研究，19（6）：482－488］

Zhou Q，Zhang RJ，Gu DX，2003. Spatial distribution patterns of the white-backed planthopper in rice fields. *Acta Entomologica Sinica*，46（2）：171－177.［周强，张润杰，古德祥，2003. 白背飞虱在稻田内空间结构的分析. 昆虫学报，46（2）：171－177］

（责任编辑：袁德成）